

Prefacio

Este trabajo fue premiado en la III Edición Eduardo Pérez de Investigación en Olivicultura en el año 2020, <http://www.premiodeinvestigacioneduardoperez.com/> , organizado por la cooperativa olivarera San José de Lora de Estepa. Se trata de uno de los premios de investigación de mayor relevancia en el sector en España, siendo también el de mayor dotación económica.

Los autores agradecen a la organización de dicho premio la autorización para reproducir de manera íntegra dicho trabajo en Digital CSIC, para facilitar su diseminación.

Córdoba, 17 de enero de 2021.

Síntesis de una década de diferentes acciones de restauración de cárcavas para olivares en el valle del Guadalquivir: descripción de situaciones, metodologías y costes.



Gómez, J.A.¹, Miranda, P.², Lora, A.², Mora, J.^{2,3}

¹ Instituto de Agricultura Sostenible, IAS-CSIC. Alameda del Obispo S/N, 14004. Córdoba.
joseagomez@ias.csic.es

² Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad de Córdoba. ETSIAM, 14080 Córdoba.

³ IMGEMA – Real Jardín Botánico de Córdoba. Avda. de Linneo s/n. 14071 Córdoba. España.

Octubre de 2020

Resumen

Este trabajo sintetiza los resultados de siete actuaciones de control de cárcavas desarrolladas desde el año 2011 en el Valle medio del Guadalquivir por los autores, la mayoría en olivar y todas ellas aplicables a este cultivo. Aparte de una descripción de estas actuaciones y de los criterios principales de diseño, los autores desglosan los costes de actuación de las mismas, que se mueven en el rango de entre 39 y 52 € por metro lineal de cárcava restaurada cuando es necesario utilizar diques de retención, y entre 4 y 14 € por metro lineal cuando es posible utilizar la opción del canal vegetado (que debemos recordar no se recomienda para áreas aportadoras muy grandes). Este trabajo demuestra que el control de cárcavas en olivar es factible utilizando la información técnica hoy disponible y recursos técnicos limitados (excepto en cárcavas de gran tamaño superiores a 2.5-3 m de profundidad). Este trabajo pretende ser un punto de entrada a dichas. No obstante, los costes de ejecución de las diferentes alternativas de control recuerdan la conveniencia de actuar de manera preventiva para minimizarlos en las zonas de mayor riesgo de formación de cárcavas hoy fácilmente identificables.

Palabras clave: restauración, erosión, cultivo, control

Índice.

Portada.	1
Resumen.	2
Índice.	2
1. Introducción	2
2. Descripción de actuaciones.	4
3. Conclusiones.	22
4. Agradecimientos.	25
5. Referencias.	25
6. Anexo: Fichas resumen de actuaciones.	29

1. Introducción.

El cultivo del olivar es uno de los principales sistemas agrícolas andaluces, posiblemente el primero si se considera su extensión, aproximadamente 1.56 Mha, caracterizado por la gran variabilidad de tipologías y condiciones en que se desarrolla (Guzmán et al., 2020). Por su indiscutible relevancia socioeconómica conviene prestar atención a reiteradas llamadas de atención en el contexto europeo por sus problemas de sostenibilidad ambiental, e.g. Beaufoy (2001) o Scheidel y Krausmann (2011). En general los principales problemas de sostenibilidad identificados en olivar se pueden resumir en (Gómez, 2009):

- 1- Degradación de suelo.
- 2- Contaminación difusa.
- 3- Reducción de la biodiversidad.
- 4- Sobreexplotación de recursos hídricos.
- 5- Baja, y decreciente, rentabilidad.

En este contexto Andalucía, como la gran zona productora de olivar en el mundo, ha ido respondiendo a este reto en las últimas décadas con una tendencia a la mejora de la sostenibilidad del olivar que incluye medidas normativas pioneras como, por ejemplo, la Ley del Olivar (Junta de Andalucía, 2011). Una revisión de trabajos científicos recientes (e.g. Gómez, 2017; Rodríguez et al., 2019) indica que, en su conjunto, el olivar andaluz sigue aquejado por parte de los problemas de sostenibilidad detectados en los estudios anteriores, en particular en relación a la degradación del suelo por la erosión hídrica. No obstante, esto no quiere decir que la situación sea homogénea. En general, aquellos olivares con sistemas de manejo con un mayor uso de cubiertas vegetales en las calles adecuadamente manejadas son capaces de alcanzar niveles de erosión bajos y sostenibles (e.g. Alcántara et al., 2017; Gómez 2017). La erosión por cárcavas, un fenómeno ampliamente descrito en olivar, puede ocasionar tasas de erosión muy elevadas, del orden de $87 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Díaz-Martínez, 2018; Martínez et al., 2020), por encima de la erosión debida a la escorrentía en laderas que es la que normalmente se mide y se cita en la literatura científico-técnica. Revisiones a escala global en diferentes usos de suelo indican que cuando la erosión por cárcavas está presente genera normalmente tasas de pérdida de suelo superiores a las de erosión en ladera (Castillo y Gómez, 2016).

Sin embargo, la efectividad del uso de cubiertas vegetales para control de la erosión por cárcavas en olivar es limitada e insuficiente. Esto es así porque los procesos que ocasionan la erosión por cárcavas, básicamente una combinación de erosión por flujo concentrado e inestabilidad ante el deslizamiento de las paredes de la cárcava una vez que esta empieza a profundizar (Gómez et al., 2019), son poco sensibles en eventos de gran intensidad a la protección proporcionada por la cubierta vegetal. Las cubiertas vegetales presentan una reducción moderada de la escorrentía en periodos en que el perfil del suelo está saturado (Alcántara et al., 2017), que son las condiciones imperantes en inviernos muy lluviosos en

los que el riesgo de formación de cárcavas es mayor. Igualmente, la protección mecánica ofrecida por la vegetación herbácea es insuficiente para evitar la erosión del suelo en condiciones de elevada concentración de caudal con elevada velocidad que aparecen en las vaguadas donde se concentra la escorrentía en eventos de lluvia de alta intensidad.

La literatura técnica y científica recoge ejemplos de estrategias de restauración y control de cárcavas (e.g. Liu et al., 2019; WOCAT, 2020). Todos estos ejemplos son de gran interés, pero presentan la dificultad de orientar en cuanto a coste y detalles de diseño y ejecución para condiciones diferentes a las que han sido desarrollados. Las diferentes revisiones de información realizadas por los autores de este trabajo en los últimos años sugieren una carencia de información fácilmente accesible y sistematizada para los agentes del sector del olivar interesados en abordar el problema del control y la restauración de cárcavas de una manera eficiente. Por eso motivo, en la última década hemos realizado diferentes acciones de evaluación y demostración de estrategias de restauración de cárcavas directamente en olivares o en otros cultivos pero que pudieran también ser directamente aplicables a olivares. Con ese espíritu se ha realizado este trabajo que, con una orientación eminentemente divulgativa, tiene como objetivo presentar de una manera sistemática y concisa una muestra de siete acciones de control de cárcavas realizadas en la última década, incluyendo metodología utilizada, condiciones de la cárcava restaurada, coste de ejecución y situación actual.

2. Descripción de actuaciones.

La Tabla 1 y la Figura 1 resumen las siete zonas de actuación para el control y restauración de cárcavas presentadas en este trabajo, así como las características principales de estas localizaciones. Como puede apreciarse, todas las actuaciones se han situado en la zona media del Valle del Guadalquivir, y en todos los casos sobre suelos arcillosos de carácter vértico desarrollados sobre material parental de origen sedimentario y fácilmente erosionable por el agua.

Nº	Nombre de actuación	Localización, Municipio	Cultivo	Fecha de intervención
1	Conchuela 1	Córdoba	Olivar	Junio de 2011
2	Conchuela 2	Córdoba	Olivar	Septiembre de 2013
3	Alguacilito	Córdoba	Olivar	Septiembre 2015
4	Matasanos	Fernán Núñez	Olivar	Octubre 2014
5	Las Trescientas	Córdoba	Rotación de cereal	Noviembre 2016
6	Fontanar	La Rambla	Almendro	Junio de 2016
7	Aguayos	Córdoba	Rotación de cereal	Octubre 2016

Tabla 1: Resumen de localización y año de intervención de las actuaciones realizadas.

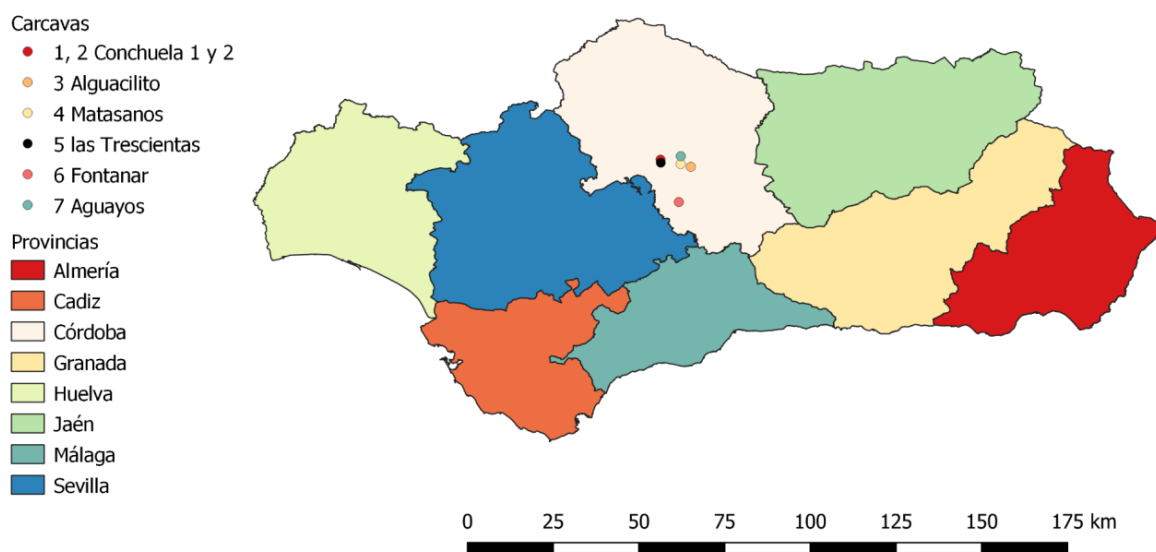


Figura 1: Mapa de localización de las acciones de restauración de cárcavas presentadas.

Estas actuaciones se fueron desarrollando a lo largo de 2011 y 2016 con medios propios de la explotación y en todas ellas, excepto en el caso 6 Fontanar, participaron los autores de este trabajo en su diseño y ejecución. En el caso de Fontanar la actuación la diseñó y ejecutó la propiedad de manera autónoma aunque ha proporcionado toda la información necesaria para su caracterización por los autores del trabajo, además de facilitar el acceso a diferentes medidas realizadas en la cuenca. En todos los casos se siguieron los criterios de diseño recogidos en Gómez et al. (2011, 2019). Este trabajo no pretende explicar en detalle estos criterios pero se pueden resumir en aquellos descritos en la Tabla 2.

Nº	Principio
1	Aumentar la infiltración en la cuenta aportadora para reducir el caudal en la cárcava.
2	Desviar (si es necesario y siempre en una zona en la que no cree daños) mediante la creación de estructuras de control, toda o parte de la escorrentía que entra en la cárcava.
3	Estabilizar la cárcava frente a la incisión mediante diques de retención completándolo con revegetación para aumentar la estabilidad. En cuencas pequeñas considerar la posibilidad de restaurar la cárcava como un canal vegetado.

Tabla 2: Principios básicos de control de cárcavas adaptado de Gómez et al. (2019)

De las siete actuaciones descritas, cinco se basaron en diques de retención espaciados de manera que se situaran lo más cerca posible del criterio de solapamiento completo, esto es que al nivel de agua máximo éste llegue al pie del dique situado inmediatamente aguas

arriba, Figura 2. No obstante, en el replanteo este solapamiento en ocasiones no se alcanzó estando en ocasiones en secciones parciales de la cárcavas entre el 66 y el 100%. La Tabla 3 resume las características de la cuenca aportadora y el caudal de diseño con el que se ha diseñado la actuación. La metodología en el diseño de estrategias de control de cárcavas parte de estimar cuál sería el caudal máximo esperable para un periodo de retorno de 25 años. Eso es, estamos diseñando para un caudal que en términos estadísticos ocurrirá una vez en el transcurso de 25 años en nuestra cárcava, aunque no podemos saber si ocurrirá mañana o dentro de cinco lustros. Esto permitirá diseñar la restauración de cárcavas de manera que puedan resistir tormentas elevadas, pero evitar sobredimensionar para tormentas muy poco probables en las que no se justificaría la inversión. El diseño con periodos de retorno más elevados se justifica en situaciones en que sea necesario proteger vidas o infraestructuras críticas. En zonas agrícolas en que no se den estas circunstancias normalmente se utiliza este periodo de retorno de 25 años asumiendo que es preferible reparar daños en caso de eventos extremos que hacer una gran inversión con poca probabilidad de ser utilizada.

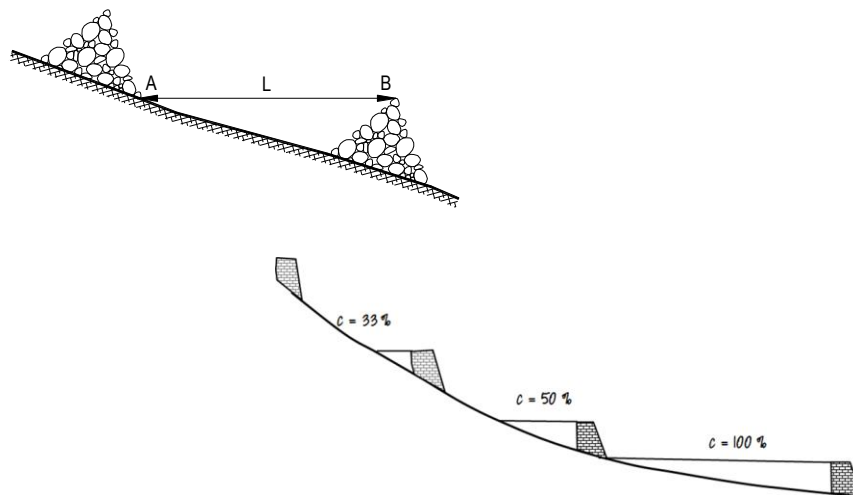


Figura 2: Diferentes estrategias de espaciado de diques de retención, desde el espaciado óptimo, $c=100\%$, técnicamente a otros normalmente recomendados por motivos de coste, $c=50, 33\%$. Tomada de Gómez et al. (2019).

Nº	Nombre de actuación	Área cuenca aportadora (ha)	Pendiente media de la cuenca %	Coefficiente escorrentía (%)	Q diseño $m^3 \text{segundo}^{-1}$
1	Conchuela 1	10.4	9.7	50	1.86
2	Conchuela 2	13.8	10.3	50	2.30
3	Alguacilito	5.4	7.7	50	0.88
4	Matasanos	3.8	8.8	50	0.55
5	Las Trescientas	6.0	8.2	40	0.41
6	Fontanar	5.2	10.1	50	0.77
7	Aguayos	1.9	16.4	40	0.30

Tabla 3: Características de las cárcavas sobre las que se han realizado las actuaciones.

Una vez calculado el caudal de diseño se visitó la explotación para verificar cuál es la estrategia más adecuada y realizar un diseño verificando los siguientes aspectos. En el caso de las actuaciones con diques de retención se verificó que los diques podrían situarse con la anchura, altura, disposición adecuada y con un aliviadero de tamaño suficiente para que el agua al circular no desborde por los laterales del dique (erosionando los estribos) y con un cuenco de amortiguación de tamaño y disposición adecuada para evitar el socavamiento del dique por el agua al verter por el aliviadero (Figura 3). En el caso de las vaguadas vegetadas se debe verificar que para las condiciones del caudal de diseño la velocidad máxima de la escorrentía no supera los $1.5 \text{ m segundo}^{-1}$ (Gómez et al., 2019). Este criterio se cumple en el caso de la actuación 5 Las Trescientas, pero se supera ligeramente para la actuación 6 Fontanar.



Figura 3: Vista de dique de retención de hormigón prefabricado en el que se aprecia claramente su aliviadero y el cuenco de amortiguación.

Finalmente se llegó a las estrategias de restauración de cárcavas resumidas en la Tabla 3. Por su interés se han incluido actuaciones no realizadas en olivar pero que se podrían implementar. En todos los casos las actuaciones se realizaron en la totalidad de la cárcava, excepto en el caso de La Conchuela 2 en que por motivos de presupuesto quedó un tramo aguas abajo sin restaurar.

Nº	Nombre de actuación	Longitud actuación (m)	Tipo de actuación	Coste total €	Coste unitario € m ⁻¹
1	Conchuela 1	65	Diques de bolo de 20 cm envuelto en malla de gavión, con refuerzo lateral y en cabecera de escollera y revegetación	3457	53.2
2	Conchuela 2	182	Diques de tres tipos (bolo de 20 cm envuelto en malla de gavión, empalizada o de empalizada) con refuerzo en cabecera de escollera y revegetación	8075	44.47
3	Alguacilito	70	Diques de bolo de 20 cm envuelto en malla de gavión, con refuerzo lateral y en cabecera de escollera y revegetación	6233	89.0
4	Matasanos	127	Diques de tres tipos (bolo de 20 cm envuelto en malla de gavión, empalizada o de empalizada) con revegetación	6397	50.4
5	Las Trescientas	238	Vaguada perfilada y resembrada como canal vegetado. Diques provisionales enterrados, hechos de pacas de paja.	917	3.9
6	Fontanar	406	Vaguada rellenada y resembrada como canal vegetado. Diques provisionales enterrados, hechos de suelo prensado envuelto en plástico.	4417	11.9
7	Aguayos	60	Escollera en cabecera, y diques con la misma cabecera a lo largo de la cárcava, completado con revegetación con herbáceas (veza/avena).	2344	39.1

Tabla 3: Resumen de las actuaciones realizadas. Coste unitario está calculado a partir de la longitud de actuación.

Las Figuras 4 y 5 muestran imágenes de antes de la actuación y tras la misma para las siete actuaciones presentadas en este trabajo. Las Figuras 6 y 7 muestran imágenes de detalle de los diques y principales actuaciones realizadas. Las Figuras 8, 9, 10 y 11 muestran una imagen aérea de las zonas de actuación antes y después en las que puede apreciarse la evolución en los olivares sobre los que se ha actuado.



Conchuela 1



Conchuela 2



Algualcilito



Figura 4: Vistas de tres de las cárcavas restauradas antes (arriba) y después (debajo) de las acciones implementadas.



Matasanos



LasTrescientas



Fontanar



Aguayos

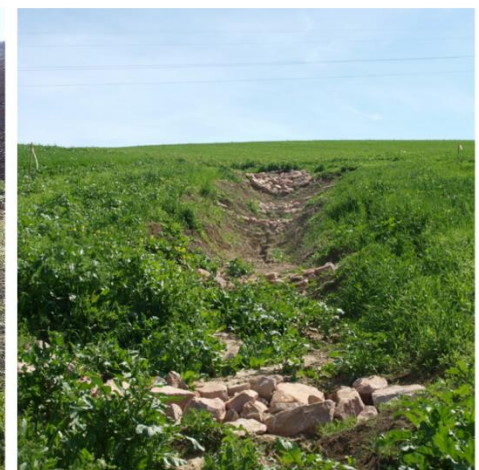


Figura 5: Vistas de cuatro de las cárcavas restauradas antes (arriba) y después (debajo) de las acciones implementadas.



Dique de hormigón prefabricado



Diques de cordón de escollera



Dique de bolo envuelto en malla de gavión



Dique de empalizada doble

Figura 6: Vistas de tipos de dique de retención usados en las actuaciones.



Cabecera con escollera para salvar desnivel en Conchuela 2



Cortesía: Francisco Jiménez

Nivelado con trailla el Fontanar



Dique de paja enterrada en Las trescientas



Siembra de canal vegetado en Las Trescientas



Cortesía: Francisco Jiménez

Dique de suelo compactado en Fontanar

Figura 7: Vistas de otras operaciones realizadas para las acciones de restauración de cárcavas descritas.



Figura 8: Vista aérea de La Conchuela 1 y 2 antes y después de la actuación de restauración. Fuente Google Earth 2020.

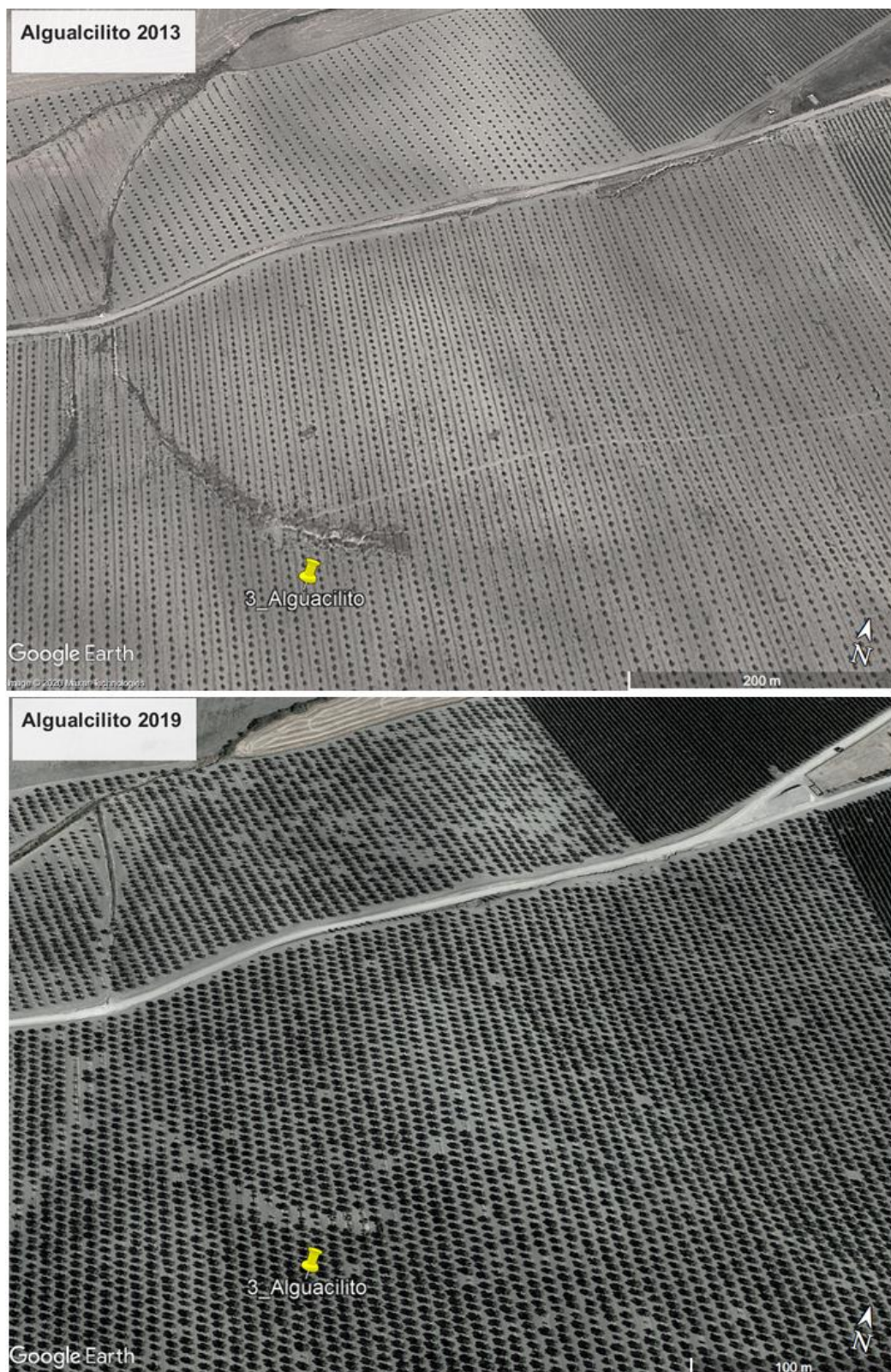


Figura 9: Vista aérea de Alguacilito antes y después de la actuación de restauración.
Fuente Google Earth 2020.



Figura 10: Vista aérea de Matasanos antes y después de la actuación de restauración.
Fuente Google Earth 2020.

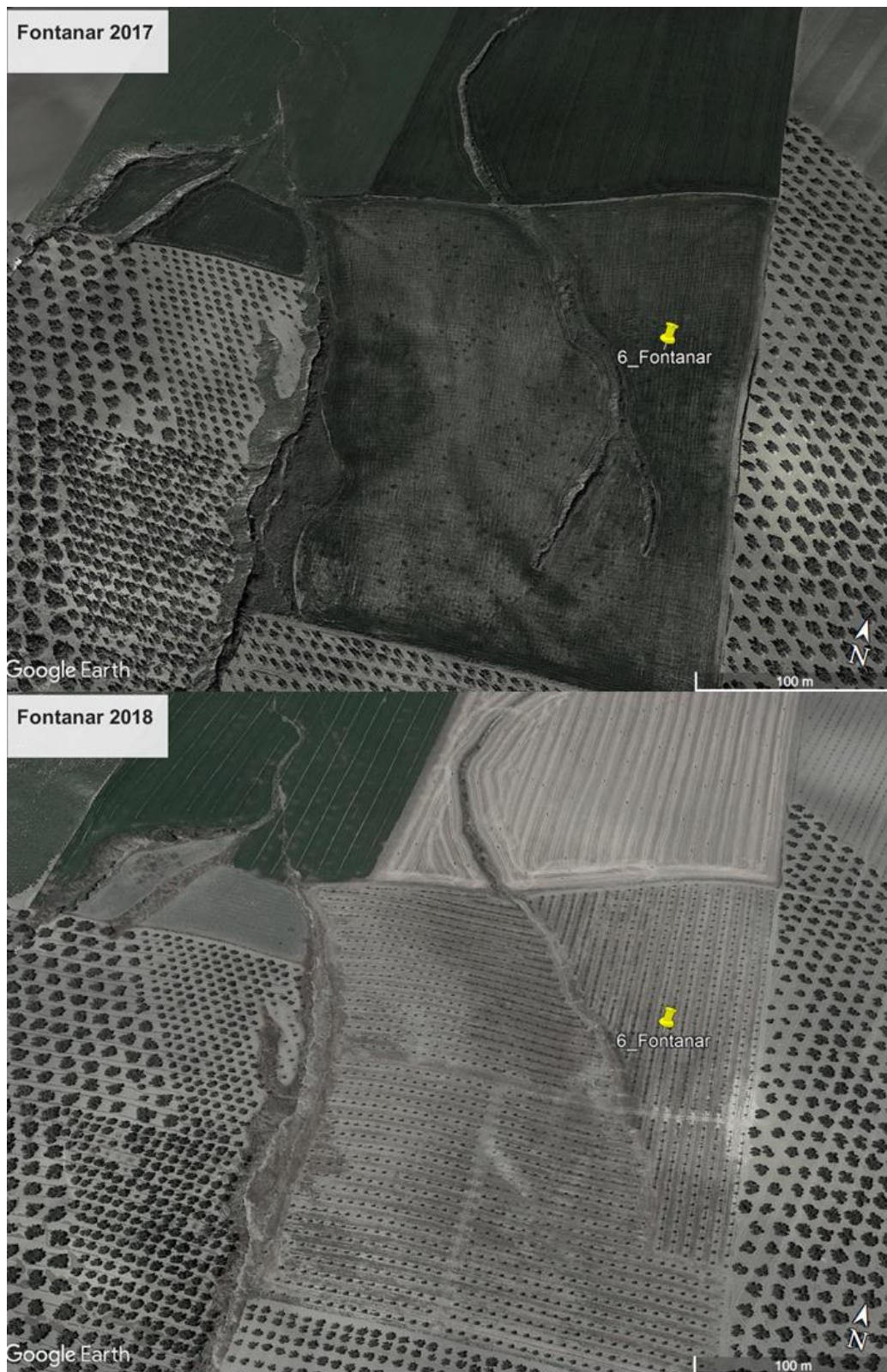


Figura 11: Vista aérea de El Fontanar antes y después de la actuación de restauración.
Fuente Google Earth 2020.

Como puede apreciarse en las Figuras 8 a 11 las cárcavas restauradas en olivar y almendro (6 Fontanar) se han mantenido estables desde su restauración, restableciéndose el paso en las calles del cultivo en aquellas que se diseñaron con este propósito (3 Alguacilito, 6 Fontanar) y contribuyendo a crear una isla de vegetación que permite mejorar el paisaje y la biodiversidad (1 Conchuela 1, 2 Conchuela 2, 4 Matasanos). En general todas las estructuras han permanecido estables sin daños con la excepción del dique final en la actuación 2, la Conchuela 2, que al no terminarse en su totalidad la restauración de toda la cárcava ha sido socavado (Figura 12). Esto ilustra la conveniencia de realizar la restauración completa de la cárcava en el menor tiempo posible. También de la posibilidad (si el presupuesto o el tiempo no lo permite) de asumir un riesgo para el dique o diques inferiores, entendiendo que es posible que el diferir la totalidad de la restauración tenga un coste en reparaciones si durante ese periodo tenemos una tormenta intensa. La Conchuela 2 también muestra la dificultad de alcanzar el equilibrio de la estabilidad de los taludes cuando la pendiente es muy pronunciada. En esta actuación el proceso de estabilización de los taludes aún no se ha completado, y se sigue produciendo derrumbes paulatinos de secciones parciales (Figura 12) mientras continúa la colonización por la vegetación y el talud sigue reduciendo su pendiente.



Figura12: Vista de dique final de La Conchuela 2 con inicio de socavamiento en el cuenco de amortiguación al no haberse completado la restauración de toda la cárcava.

La precipitación durante los años que han transcurrido desde las actuaciones ha sido relevante pero sensiblemente inferior a las máximas durante las últimas seis décadas, no habiéndose alcanzado, a nuestro conocimiento, los caudales de diseño para un periodo de retorno de 25 años. Esto se resume en la Figura 13 en la que se refleja la precipitación anual en Córdoba desde 1960. No obstante, el buen resultado hasta la

fecha, en la que ha habido tormentas de relevancia sin fallos relevantes sugiere que las actuaciones han sido bien diseñadas y se ha controlado o revertido la situación de erosión acelerada y fraccionamiento de la explotación.

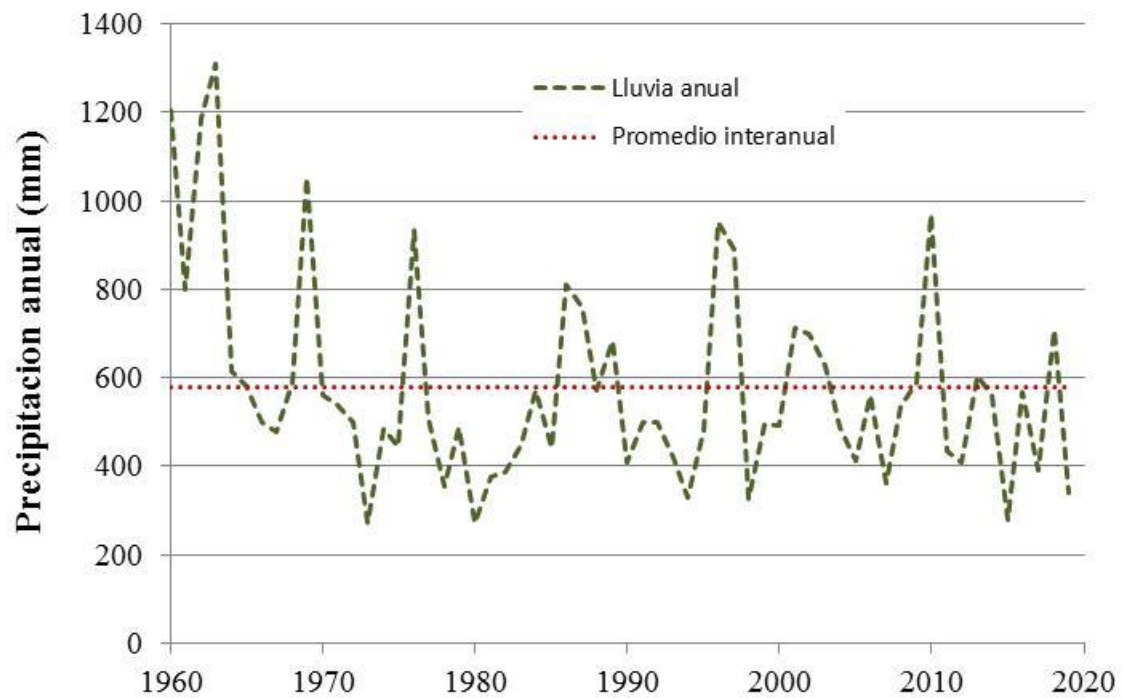


Figura13: Evolución de la precipitación anual (años naturales) en Córdoba Aeropuerto para el periodo 1960-2019.

La Figura 14, muestra los perfiles del eje de la cárcava (o vaguada vegetada) medido en 2019 con GSP diferencial de resolución sub-métrica. En ella puede apreciarse el rango de pendiente media en el que se parecen haber estabilizado las cárcavas hasta la fecha.

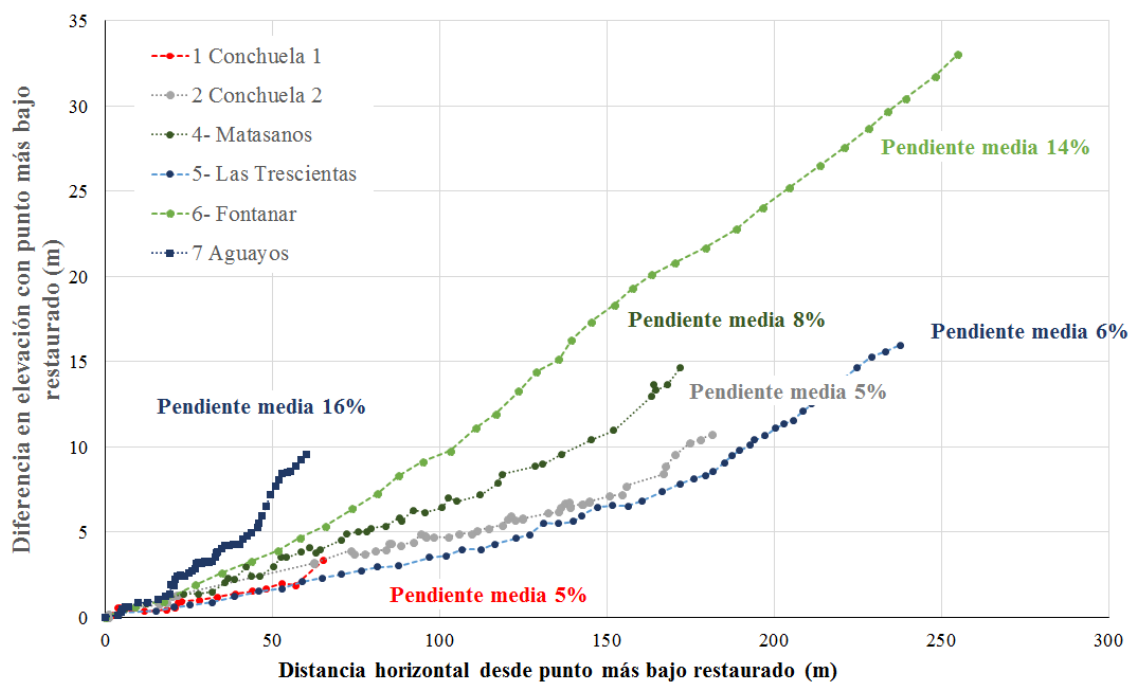


Figura14: Pendiente longitudinal de cárcavas restauradas, medido en 2019.

El coste de intervención es uno de los aspectos más importantes a la hora de decidir si ejecutar, y cómo, este tipo de actuaciones, y para el que la información disponible es menos abundante. Las Figuras 15 y 16 muestran el coste de las actuaciones presentadas en este trabajo en términos absolutos, y relativos dentro del coste total de cada obra, respectivamente.

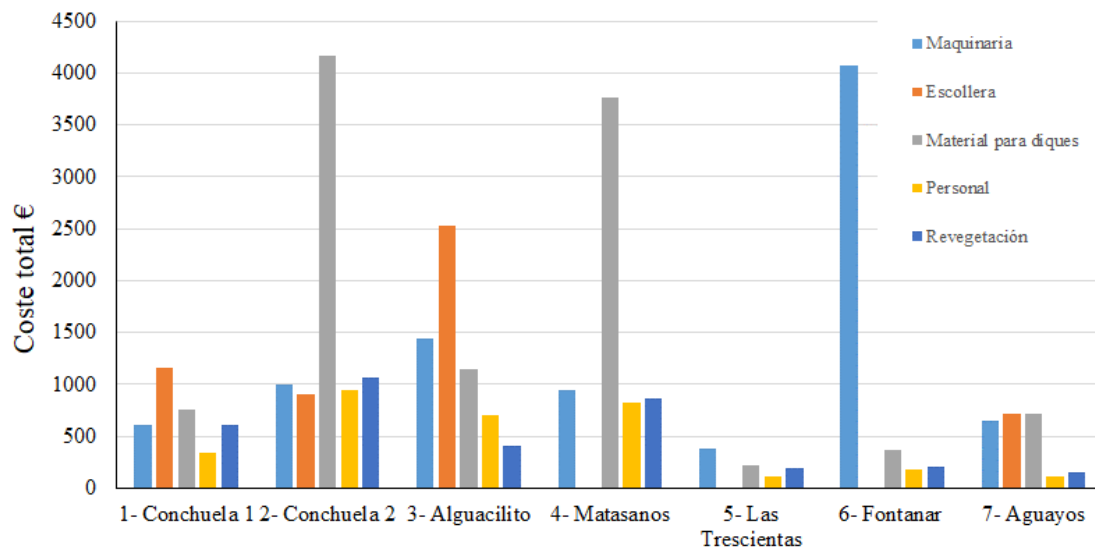


Figura 15: Desglose de coste en principales apartados de las actuaciones de restauración de cárcavas.

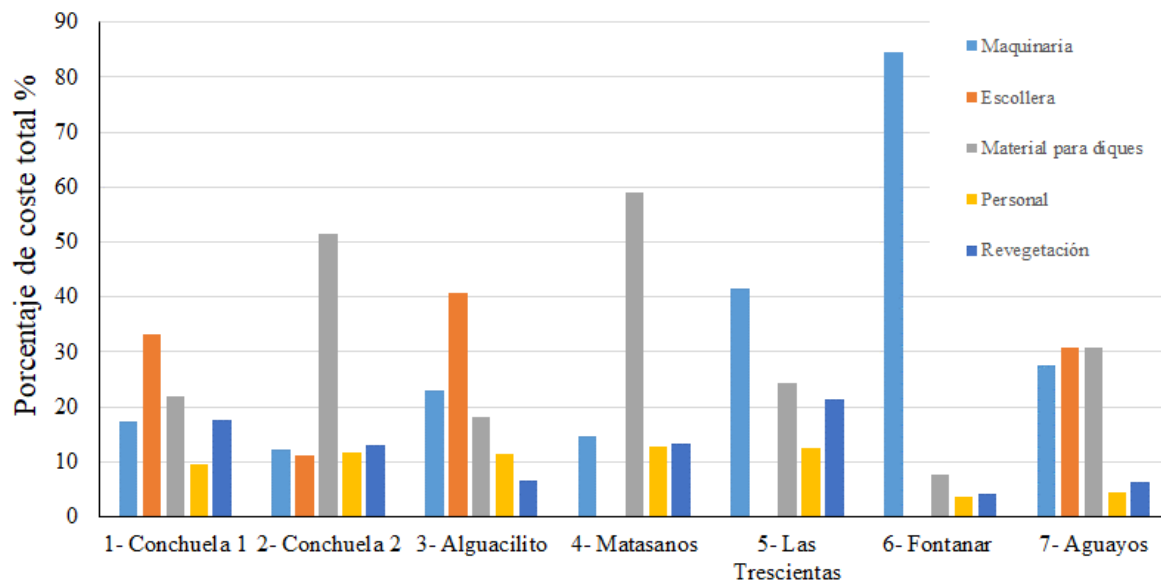


Figura 16: Desglose de coste en principales apartados de las actuaciones de restauración de cárcavas.

Los procesos básicos que activan la formación de cárcavas en la zona de estudio, básicamente incisión por concentración de escorrentía superficial en zonas de vaguada en eventos de elevada magnitud, permiten avanzar la hipótesis de que se formarían en esas zonas independientemente del cultivo, siendo el factor diferencial la protección del suelo que ofreciera un manejo adecuado. La Figura 11 ilustra ese ejemplo en la actuación 6 Fontanar, donde el acarcavamiento de la vaguada se formaría independientemente del tipo de cultivo. La Figura 17 incide en esa idea, mostrando la ortofoto del vuelo nacional del año 1984-85 de las cuatro actuaciones en olivar (Conchuela 1 y 2, Alguacilito y Matasanos) y en un periodo previo en el que el cultivo era tierra calma. En ella se puede apreciar la existencia de un cauce efímero en La Conchuela, una zona con la formación de una cárcava efímera en Alguacilito, y una zona de vaguada en Matasanos. Este análisis, limitado por la menor resolución de la ortofoto y la interacción con el momento entre la ortofoto y la última labor en la parcela, redunda en la idea de que los procesos de formación de cárcavas en estos paisajes eran anteriores al cambio de cultivo y que han venido sucediéndose con antelación, algo documentado por Castillo et al. (2013) en otra cuenca (arroyo Galapagares) sobre vertisoles en el área de estudio en el periodo 1956-2013. Todo ello sugiere la conveniencia de identificar las zonas con mayor riesgo de cárcavas en base a los caudales previsibles, para lo que la metodología usada en este estudio y descrita en detalle en Gómez et al. (2011, 2019) podría ser usada de manera relativamente sencilla.



Figura 17: Vista previa obtenida del vuelo fotogramétrico 1984-85, de las vaguadas en las que se realizaron actividades de control de cárcavas en los olivares de La Conchuela, Alguacilito y Matasanos cuando aún estaban como parcelas de tierra calma. Fuente REDIAM (2020).

3. Conclusiones.

Las actuaciones presentadas constituyen un ejemplo de las numerosas actuaciones que en materia de control de cárcavas se vienen ejecutando por numerosos propietarios en Andalucía (e.g. Taguas et al. 2011) pero de las que resulta muy complicado encontrar una información detallada de las mismas. En su conjunto, las siete actuaciones presentadas, diseñadas y ejecutadas siguiendo los principios propuestos en manuales técnicos desarrollados para la zona y libremente disponibles (Gómez et al., 2011; 2019) parecen haberse comportado de manera satisfactoria habiéndose mantenido estables desde su implantación durante años de pluviometría alrededor de la media en la zona, aunque se seguirá evaluando su comportamiento para determinar su comportamiento en caudales cercanos a los de diseño en años muy lluviosos.

La estabilidad alcanzada incluso con pendientes relativamente elevadas (Figura 14) sugiere que las estructuras basadas en diques de retención están funcionando de manera adecuada como estructuras de disipación controlada de la energía de los caudales de escorrentía dentro de la cárcava. La restauración basada en canales vegetados se ha comportado mejor de lo previsto, en especial considerando que se han simplificado los criterios de diseño con respecto a una situación ideal, ya que no se ha perfilado con detalle para formar un canal de sección uniforme y las velocidades máximas previstas de la escorrentía están en el límite o por encima (actuación 6 Fontanar) de lo recomendado. El éxito de estas dos actuaciones se ha debido, en nuestra opinión, a dos factores. Uno ha sido la implementación de “diques” enterrados que han reforzado su estabilidad. El otro ha sido la selección adecuada de la vegetación en función del cultivo circundante. En el caso del almendro en Fontanar (que es una situación análoga a la que podría darse en olivar) se ha utilizado una gramínea de ciclo corto compatible con el manejo general de la plantación. Sin embargo, en el caso de Las Trescientas, la vegetación se tuvo que escoger para prevenir que el canal se convirtiera en una zona de infestación para el cultivo. Esta situación, que el canal vegetado deba manejarse para evitar que se convierta en una zona de infestación para el cultivo, se podría dar también para el olivar dependiendo del banco de semilla y las condiciones particulares de una explotación. Por ello, es necesario recordar que una vigilancia y manejo de la vegetación del canal vegetado es clave para su mantenimiento exitoso dentro de un manejo aceptable de la plantación.

El análisis de los caudales de diseño (Tabla 3) nos recuerda cómo no son necesarias cuencas aportadoras muy grandes para desarrollar cárcavas permanentes de tamaño considerable, ya que en las condiciones del Valle del Guadalquivir es previsible que acontezcan eventos de lluvia abundante cada relativamente pocos años, resultando en la circulación de caudales muy elevados por las vaguadas de los olivares y otras zonas de cultivo. Un estudio detallado del terreno, hoy fácilmente realizable con la información de imágenes y modelos de elevación del terreno disponibles de manera gratuita, complementado con un estudio de los caudales previsibles como el mostrado aquí permitiría identificar esas zonas de riesgo. En ocasiones, como en algunos ejemplos

mostrados aquí como Alguacilito en la Figura 16, un análisis de las imágenes disponibles permite identificar periodos previos de formación de cárcavas. Esto nos recuerda también que para un suelo y localización determinada la topografía del terreno y el manejo del suelo, más que el cultivo, serán factores determinantes a la hora de determinar el riesgo de formación de cárcavas.

Uno de los aspectos que puede ser de mayor interés práctico de este trabajo es que proporciona una orientación sobre el coste de diferentes acciones de restauración de cárcavas en diferentes situaciones con medios propios. Esto puede ser de utilidad a agricultores y técnicos que se enfrenten a este problema por primera vez, aunque los costes indicados deben considerarse de manera orientativa. Factores como una mejor organización de la ejecución, mejor negociación de precios de materiales... podrían resultar en una diferencia sensible, pero en cualquier caso ofrecen una referencia basada en casos reales. Los costes varían en función del tipo de cárcava y actuación necesaria para su restauración, pero se mueven en el orden de entre 39 y 52 € por metro lineal de cárcava restaurada cuando es necesario utilizar diques de retención, y entre 4 y 14 € por metro lineal cuando es posible utilizar la opción del canal vegetado (que debemos recordar no se recomienda para áreas aportadoras muy grandes).

Un análisis de los conceptos de gasto nos indica que tener que abordar la restauración de cárcavas de tamaño relativamente grande como el caso de Conchuela 1 y 2, Aguayos, Alguacilito y Fontanar obliga al uso maquinaria pesada, bien por la necesidad de mover la escollera o grandes cantidades de suelo para perfilar. Esto resulta en costes en maquinaria y/o material altos en términos absolutos (Figura 15) y relativos (Figura 16) y es un recordatorio de las ventajas de actuar de manera preventiva o inmediata a los primeros síntomas. Un menor tamaño de cárcava permitiría realizar obras de menor tamaño y prescindir de la maquinaria pesada y en muchas ocasiones de la escollera, resultando en costes sensiblemente menores. Queremos recordar que las tecnologías de restauración empleadas aquí no son las únicas existentes en el mercado, y que aunque se utilizaron en nuestro caso por considerarse en ese momento y situación las más adecuadas, conviene explorar otras opciones que en un momento dado podrían ser convenientes, como por ejemplo el uso de bio-rollos (ver Gómez et al., 2011) u otras emergentes. Por ejemplo, en la actualidad se está desarrollando dentro del proyecto Innolivar (Innolivar, 2020) prototipos de piezas de hormigón prefabricado de un peso manejable para la construcción de diques de retención sin la necesidad de maquinaria que se espera estén disponibles en el mercado en relativamente poco tiempo.

En resumen, este trabajo ofrece diferentes ejemplos exitosos de control de cárcavas en olivar en Andalucía, indicando la posibilidad de prevenir y controlar este problema a partir de la tecnología e información técnica ya disponible, a las que este trabajo pretende ser un punto de entrada. Aunque el coste de las actuaciones sigue siendo elevado en relación a beneficio generado por las explotaciones, existen diferentes alternativas de control de cárcavas en olivar para aquellos propietarios o técnicos interesados para profundizar en su implementación a escala de finca y en el desarrollo

de estrategias mejoradas que permiten trabajar en reducir el coste del control de este problema ambiental. Estas estrategias posiblemente deberán aprovechar la posibilidad de realizar actuaciones preventivas, y de mucho menor coste, en zonas de riesgo del paisaje que son relativamente fáciles de identificar, y estar aprendiendo de otras actuaciones e innovaciones que puedan surgir.

4. Agradecimientos.

El trabajo resumido en este documento no habría sido posible sin la contribución de todos los propietarios de las diferentes explotaciones en las que se han desarrollado las actividades aquí presentadas. Sin el interés y apoyo de todos estos propietarios, este trabajo no habría sido posible. Igualmente tampoco habría sido posible sin el Programa de Diversificación del Paisaje de la Campiña de Córdoba, promovido por el Ayuntamiento de Córdoba. Esta es una iniciativa pionera en este ámbito que ha hecho posible el trabajo aquí presentado con su apoyo, pero también contribuyendo a un cambio de mentalidad en el valor de los valores del paisaje y la vegetación no productiva en los paisajes agrarios de la región. También queremos agradecer la coloración de D. Francisco Jiménez por proporcionar y permitirnos usar fotografías de la ejecución de la obra de restauración en Fontanar y al Dr. Carlos Castillo de la U. de Córdoba quien participó en las acciones aquí presentadas hasta 2015.

Igualmente se reconoce la colaboración de los proyectos y los proyectos AGL2009-1236-C03-01 (Ministerio de Ciencia e Innovación), AGL2015-65036-C3-1-R (Ministerio de Economía y Competitividad), SHUi (Comisión Europea, GA 773903) y la red RESEL (Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino). Todos ellos han financiado de manera parcial actividades presentados en este trabajo durante la década que cubren las acciones aquí presentadas.

5. Referencias

Alcántara, C., Soriano, M.A., Saavedra, M. Gómez, J.A. 2017. Capítulo 10: Manejo del suelo. En: El cultivo del olivo. 7ª Edición. Editores: Barranco, D., Fernández Escobar, R., Rallo, L. Mundiprensa. ISBN: 9788484767145

Beaufoy, G. 2001. EU policies for olive farming. Unsustainable on all counts. Bird Life International-WWF. Available at: <http://www.wwf.org.uk/filelibrary/pdf/oliveoil.pdf>

Castillo, C., G., Mora Jordano, J., Gómez, J.A. 2013. Historical evolution of the drainage network at the basin scale using aerial orthophotography in Southern Spain. Geophysical Research Abstracts Vol. 15, EGU2013-6372, 2013

Castillo, C., Gómez, J.A. 2016. A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches Earth-Science Reviews 160: 300–319

Díaz-Martínez, P. 2018. Análisis espacio-temporal de la erosión en cárcavas en el olivar. Aplicación de técnicas microgeodésicas. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Jaén.

Fernández, T., Pérez-García, J.L., Gómez-López, J.M., Cardenal, J., Calero, J., Sánchez-Gómez, M., Delgado, J., Tovar-Pescador, J. 2020. Multitemporal Analysis of

Gully Erosion in Olive Groves by Means of Digital Elevation Models Obtained with Aerial Photogrammetric and LiDAR Data. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 9, 260.

Gómez, J.A. (Editor) 2009. Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía. Junta de Andalucía. ISBN: 978-84-8474-276-0.

Gómez, J.A., Taguas, E.V., Vanwalleghe, T., Giráldez, J.V., Sánchez, F., Ayuso, J.L., Lora, A., Mora, J. 2011. Criterios técnicos para el control de cárcavas, diseño de muros de retención y revegetación de paisajes agrarios. Manual del operador en inversiones no productivas. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337159509Manual_del_operador_x_carcavax.pdf

Gómez, J.A. 2017. Sustainability using cover crops in Mediterranean tree crops, olives and vines – Challenges and current knowledge. *Hungarian Geographical Bulletin* 66: 13–28.

Gómez, J.A., Castillo, C., Mora, J., Lora, A., Taguas, E.V., Ayuso, J.L., Guerrero-Casado, Tortosa, F.S. 2019. Criterios técnicos para el diseño y evaluación de cárcavas, revegetación para diversificación del paisaje, muros de contención, mejora ambiental de fuentes y abrevaderos y construcción de charcas artificiales. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/publicacion/19/12/CARCAVAS_4-12-19-reduc.pdf

Guzmán, J.R., Hernández, P., Gómez, J.A., Lora, A. 2020. Olivares de España recorrido por la biografía del olivar, su memoria y sus paisajes. Almuzara. ISBN: 9788418089343

Innolivar. 2020. Accesible en: <https://innolivar.es/>

Junta de Andalucía, 2011. Ley del Olivar de Andalucía. BOJA nº 205 de 19/10/2011.

Liu, X., Li, H. Zhang, S. Cruse, R.M., Zhang, X. 2019. Gully Erosion Control Practices in Northeast China: A Review. *Sustainability* 11: 5065, doi:10.3390/su11185065

Mora Jordano, J., Lora González, A., Castillo Rodríguez, C., Muñoz Macías, F., Rojo Aranda, M., Gómez, J.A. 2013. Técnicas de control de cárcavas mediante el uso de vegetación forestal y diques de retención en explotaciones agrícolas. El caso de la finca “La Veguilla”. Comunicación a VI Congreso Forestal Español. Vitoria.

REDIAM, Red de Información Ambiental de Andalucía 2020. WMS Ortofoto Digital Pancromática de Andalucía 1984 -85. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.04dc44281e5d53cf8ca78ca731525ea0/?vgnextoid=149c21150ba90310VgnVCM1000001325e50aRCRD&lr=lang_es

Rodríguez, A.A., Barandica, J.M., Rescia, A. 2019. Ecological and Economic Sustainability in Olive Groves with Different Irrigation Management and Levels of Erosion: A Case Study. *Sustainability* 2019, 11(17), 4681; <https://doi.org/10.3390/su11174681>

Scheidel, A., Krausmann, F. 2011. Diet, trade and land use: A socio-ecological analysis of the transformation of the olive oil system. *Land Use Policy* 28: 47-56.

Taguas, E.V., Giráldez, J.V., Ayuso, J.L., Pérez, R., Castillo, C., Gómez, J.A. 2011. Preliminary assesment and cost analysis of incentives for gully control in agricultural areas of Andalusia (Southern Spain). *Geophysical Research Abstracts* Vol. 13, EGU2011-4693.

WOCAT. 2020. World Overview of Conservation Approaches and Technologies. <https://www.wocat.net/en/>

Anexo: Fichas resumen de actuaciones.

A.1. Conchuela 1.

A.1.1. Características generales.

Localización (UTM):

- X: 333094.99 m E
- Y: 4187293.39 N

Área de la cuenca aportadora: 10.4 ha.

Caudal punta para periodo de diseño de 25 años: $1.86 \text{ m}^3 \text{ segundo}^{-1}$.

Pendiente media cuenca aportadora: 9.7 %.

Longitud máxima recorrida por escorrentía en la cuenca aportadora: 212.8 m.

Cultivo: Olivar.

Longitud de actuación: 65 m.



Figura A.1: Imagen de la cárcava restaurada. Tomada de Mora Jordano et. al. (2013)

A.1.2. Descripción de la actuación.

Para la restauración de esta cárcava se combinaron diques de bolo envuelto en gavión, escollera y revegetación en una longitud de unos 120 metros sobre el cauce acarcavado que se observa en la Figura 1.

Para reconstruir esa cárcava se colocaron varios diques de baja altura (0.7 m aproximadamente). El primer dique se colocó a la entrada de un canal de hormigón (usado para aforar caudales) colocado al final de la sección de la cárcava a restaurar, con dos diques similares más aguas arriba con una separación de 30 m, y finalmente

otro por encima de ellos a unos 10 m aguas debajo de la cabecera de la cárcava. Los diques se construyeron con bolo de cantera de tamaño de medio de 20 cm de diámetro envueltos en malla de gavión (dos secciones de 3x4m cosidos entre sí por alambre). Estos se construyeron saneando el suelo hasta alcanzar una solera firme abriendo zanjás de 150 cm de anchura y 30 cm profundidad, formando gaviones de entre 0.6 y 0.8 metros de altura. Los diques se completaron con cuencos de disipación (bolo rodeado por una malla al pie del dique) con un geotextil por debajo actuando de filtro para evitar la succión del material fino por el agua al circular.

Se reforzó con escollera de tamaño grande, peso medio de 500 kg, dos tramos de talud de la cárcava que presentaba problemas de estabilidad en los estribos del cauce y en la cabecera de la cárcava. En esta zona de cabecera se colocó abundante escollera para formar un paso transitable por la maquinaria durante el periodo húmedo que a la vez supusiera un obstáculo definitivo para el crecimiento de la cárcava en cabecera.

Todo el perímetro se revegetó con vegetación leñosa autóctona siguiendo los criterios de Gómez et al., (2011, 2019).

A.1.3 Resumen de costes.

El coste total de esta intervención realizada con personal propio, maquinaria alquilada y materiales comprados en proveedores cercanos se resume en la Tabla A.1. En ella el coste se ha calculado por apartados a precios del año de intervención.

Concepto	Coste, €
Diques de bolo con malla de gavión	756
Revegetación	610
Escollera	1152
Maquinaria	605
Coste de personal	334
Coste total:	3457

Tabla A.1: Resumen de costes. Elaborada a partir de Mora Jordano et. al. (2013)

A.2. Conchuela 2.

A.2.1. Características generales.

Localización (UTM):

- X: 333094.99 m E
- Y: 4187293.39 m N

Área de la cuenca aportadora: 13.8 ha.

Caudal punta para periodo de diseño de 25 años: $2.3 \text{ m}^3 \text{ segundo}^{-1}$.

Pendiente media cuenca aportadora: 10.3%.

Longitud máxima recorrida por escorrentía en la cuenca aportadora: 272.6 m.

Cultivo: Olivar.

Longitud de actuación: 182 m.



Figura A.2: Imagen de la cabecera de la cárcava restaurada.

A.2.2. Descripción de la actuación.

En la restauración de esta cárcava se combinó el uso de diferentes tipos de diques a lo largo de la misma por motivos constructivos y divulgativos. Las tipologías fueron de empalizadas, gavión como en la actuación Conchuela 1 y placa de hormigón prefabricado.

Los diques instalados fueron 10 en total, y se distribuían de esta manera. Los dos primeros diques eran de empalizada y se ubicaban a 17 metros y 29.5 metros del final del aforador respectivamente; los dos siguientes fueron diques de gavión a 46.4 y 63.6 metros de la salida del aforador; el siguiente dique fue de placa de hormigón prefabricado a 88.2 metros de la salida del aforador. Los dos diques siguientes volvieron

a ser de gavión situados a 99.0 y 110.5 metros de la salida del aforador, y por último se colocaron tres diques de placa de hormigón prefabricado a 121.3, 165.4 y a 182.7 metros desde la salida del aforador.

Previamente a la instalación de los diques se reforzó la cabecera de la cárcava, que se bifurcaba, mediante escollera de 500 kg colocada formando un canal en rip-rap para salvar el desnivel.

Los diques de empalizada se realizaban mediante la colocación de piedra rodeada por malla, mientras que los muros de gavión se realizaban cómo se ha descrito en la sección A.1. Conchuela 1. Las placas de hormigón prefabricadas, se compraban ya fabricadas con unas dimensiones de 5x2 m y se colocaban sobre el propio terreno mediante un camión con pluma tras realizar una zanja para su anclaje. Todos los elementos nombrados iban acompañados de cuencos de disipación (bolo rodeado por una malla al pie del dique) con un geotextil por debajo actuando de filtro para evitar la succión del material fino por el agua al circular.

Finalmente se procedió a la revegetación del perímetro con plantas autóctonas como rosal silvestre y adelfa siguiendo los criterios de Gómez et al., (2011, 2019).

A.2.3 Resumen de costes.

El coste total de esta intervención realizada con personal propio, maquinaria alquilada y materiales comprados en proveedores cercanos se resume en la Tabla A.2. En ella el coste se ha calculado por apartados a precios del año de intervención.

Concepto	Coste, €
Diques de placas de hormigón	2174
Diques de bolo con malla de gavión	1282
Diques de empalizada	709
Revegetación	1066
Escollera	900
Maquinaria	1000
Coste de personal	944
Coste total:	8075

Tabla A.2: Resumen de costes.

A.3. Alguacilito.

A.3.1. Características generales.

Localización (UTM):

- X: 350187.00 m E
- Y: 4181820.0 m N

Área de la cuenca aportadora: 5.4 ha.

Caudal punta para periodo de diseño de 25 años: 0.88 m³ segundo⁻¹.

Pendiente media de la cuenca aportadora: 7.7 %.

Longitud máxima recorrida por escorrentía en la cuenca aportadora: 254.7 m.

Cultivo: Olivar.

Longitud de actuación: 70 m.



Figura A.3: Imagen de la cárcava restaurada.

A.3.2. Descripción de la actuación.

En este caso se trata de una cárcava que corta el paso en las calles del olivar, por lo que el objetivo es restaurar la cárcava pero también restablecer el paso de manera permanente. Para ello se planea hacer un dique de bolo envuelto en malla de gavión cada 2 líneas de árboles, ver Figura A.3, como solución de compromiso entre un control efectivo y un coste de intervención asequible. Con esta estrategia se colocaron en total 5 diques de bolo envuelto en malla de gavión que en la que el uso de corrugado permitió hacerlos algo más altos (0.8-1.0 m aproximadamente). Una vez rellenada la cárcava y perfilada con una pala excavadora, se creó un cuenco de amortiguación de escollera aguas debajo de los diques que a su vez actuaba de solera firme para crear un paso de maquinaria cuando el terreno este húmedo. Esta escollera se cubrió con suelo para

facilitar la implantación de cubierta vegetal en la calle. En las calles aguas debajo de las fuinas de árboles en que no se dispuso dique, la cárcava se cubrió con grava para minimizar el coste de la actuación

Los bordes de los diques de retención se revegetaron con especies autóctonas (rosal silvestre, retama...) adelfa siguiendo los criterios de Gómez et al., (2011, 2019).

A.3.3 Resumen de costes.

El coste total de esta intervención realizada con personal propio, maquinaria alquilada y materiales comprados en proveedores cercanos se resume en la Tabla A.3. En ella el coste se ha calculado por apartados a precios del año de intervención.

Concepto	Coste, €
Diques de bolo con malla de gavión	1141
Escollera y grava	2534
Maquinaria	1440
Personal	708
Revegetación	410
Coste total:	6233

Tabla A.3: Resumen de costes.

A.4. Matasanos.

A.4.1. Características generales.

Localización (UTM):

- X: 344498.03 m E
- Y: 4183953.40 m N

Área de la cuenca aportadora: 3.8 ha.

Caudal punta para periodo de diseño de 25 años: $0.55 \text{ m}^3 \text{ segundo}^{-1}$.

Pendiente media de la cuenca aportadora: 8.8 %

Longitud máxima recorrida por escorrentía en la cuenca aportadora: 389 m.

Cultivo: Olivar.

Longitud de actuación: 127 m.



Figura A.4: Imagen de la cárcava restaurada.

A.3.2. Descripción de la actuación.

Esta cárcava se restauró utilizando diferentes tipos de diques por motivos constructivos pero también de divulgación, a fin de poder mostrar en un único lugar ejemplos de diferentes diques. Estos tipos fueron tres: doble empalizada, diques de gavión y placa de hormigón prefabricada. La doble empalizada consiste en crear dos barreras con perfiles metálicos clavados en el suelo y cerrada con malla de gavión que se rellena con bolo. En esta actuación se situaron en la zona superior de la cárcava donde hacían falta diques de mayor altura, 1.5 aproximadamente. Los diques de gavión consisten en bolo de unos

20 cm envuelto en malla de gavión formando un dique de aproximadamente 0.5 m de altura. Las placas de hormigón prefabricadas, se compraban ya fabricadas con unas dimensiones de 5x2 m y se colocaban sobre el propio terreno mediante un camión con pluma tras realizar una zanja para su anclaje. Todos los elementos nombrados iban acompañados de cuencos de disipación (bolo rodeado por una malla al pie del dique) con un geotextil por debajo actuando de filtro para evitar la succión del material fino por el agua al circular.

La distribución de los diferentes diques a partir de la cabecera fue como sigue. Los dos primeros diques fueron de doble empalizada a 8 y a 12.8 metros de la cabecera de la cárcava el siguiente dique se encuentra a 17.6 metros de la cabecera construido con bolo y malla de gavión, los cuatro siguientes diques se construyeron a partir de perfiles de hormigón prefabricados y se situaron a 23.2, 28.8, 35.2 y 49.6 metros de la cabecera; el resto de diques consistió en diques de bolo con malla de gavión situados a 57.6, 70.4 , 82.4, 90.4 , 97.6, 109.6, 121.6 y 127.2 metros de la cabecera.

Finalmente se revegetó la parte superior de la cárcava, hasta en séptimo dique aproximadamente los primeros 50 m desde la cabecera de la cárcava) especies autóctonas (acebuche, adelfa, rosal silvestre,...) siguiendo los criterios de Gómez et al., (2011, 2019).

A.4.3 Resumen de costes.

El coste total de esta intervención realizada con personal propio, maquinaria alquilada y materiales comprados en proveedores cercanos se resume en la Tabla A.4. En ella el coste se ha calculado por apartados a precios del año de intervención.

Concepto	Coste, €
Diques de placas de hormigón	1987
Diques de bolo con malla de gavión	1110
Diques de empalizada	670
Revegetación	860
Maquinaria	944
Personal	826
Total	6397

Tabla A.4: Resumen de costes.

A.5. Las Trescientas.

A.5.1. Características generales.

Localización (UTM):

- X: 333185.40 m E
- Y: 4185163.82 m N

Área de la cuenca aportadora: 6.0 ha.

Caudal punta para periodo de diseño de 25 años: $0.41 \text{ m}^3 \text{ segundo}^{-1}$.

Pendiente media de la cuenca aportadora: 8.2%.

Longitud máxima recorrida por escorrentía en la cuenca aportadora: 171.2 m.

Cultivo: Rotación de cereal de secano.

Longitud de actuación: 238 m.



Figura A.5: Imagen de la cárcava restaurada.

A.5.2. Descripción de actuación

En este caso, debido al moderado caudal de la cuenca y las posibilidades de la explotación, se optó por un canal vegetado como la mejor solución ya que permitía mantener las velocidades para el caudal de diseño por debajo del máximo recomendado (nunca por encima de $1.5 \text{ m segundo}^{-1}$, véase por ejemplo Gómez et al. 2011 ó 2019). Para ello en primer lugar se labró y perfiló la cárcava creando un canal ancho de sección lo más homogénea posible. A continuación, para prevenir la incisión de la cárcava mientras crecía la vegetación, se instalaron enterradas pacas de paja a modo de diques enterrados. Su propósito es prevenir la erosión durante el primer invierno a coste

moderado sin constituir un obstáculo enterrado que pudiera ocasionar un daño a aperos. Usando una pala excavadora, se colocaron 12 líneas de pacas a aproximadamente 16 m cada una. En cada una de estas líneas de pacas se enterraron 4 pacas de paja. Finalmente se realizó la revegetación del terreno mediante siembra a muy alta densidad (300 kg ha^{-1}) de una mezcla de trigo, avena y veza usando una abonadora centrífuga que después se pisó con un rulo. En el momento de la mezcla se aportó abonado de fondo para un mejor establecimiento de la cubierta, usando tripe 15 NPK (15-15-15) a 175 kg ha^{-1} . Esta cubierta vegetada debe reponerse si desaparece o si se infesta de malas hierbas perjudiciales para el cultivo. En este caso se sembró en otoño de 2016 y tuvo que volver a sembrarse en otoño de 2019.

A.5.3 Resumen de costes.

El coste total de esta intervención realizada con personal propio, maquinaria alquilada y materiales comprados en proveedores cercanos se resume en la Tabla A.4. En ella el coste se ha calculado por apartados a precios del año de intervención.

Concepto	Coste, €
Perfilado de cárcava	111
Diques de paja enterrados	224
Alquiler de maquinaria	270
Siembra de cubierta	196
Mano de obra	116
Coste total:	917

Tabla A.5: Resumen de costes.

A.6. Fontanar.

A.6.1. Características generales.

Localización (UTM):

- X: 343055.38 m E
- Y: 4156833.5 m N

Área de la cuenca aportadora: 5.16 ha

Caudal punta para periodo de diseño de 25 años: $0.77 \text{ m}^3 \text{ segundo}^{-1}$

Pendiente media de la cuenca aportadora: 10.1%

Longitud máxima recorrida por escorrentía en la cuenca aportadora: 358 m

Cultivo: Almendro de riego

Longitud de actuación: 406.6 m (en dos ramales).



Figura A.6: Imagen de la cárcava restaurada.

A.6.2. Descripción de actuación

Esta actuación siguió el principio de canal vegetado pero partiendo de una cárcava de gran tamaño formada en una parcela de tierra calma antes de la plantación de los almendros. Para ello lo primero que se realizó fue el movimiento de tierras para tapar la cárcava (en forma de Y) y perfilarla formando un canal de sección amplia con poco calado. Esto se realizó con trailla y aperos de labor. A continuación, y para estabilizar la superficie frente a la formación de regueros mientras se implantaba la vegetación, se instalaron 10 diques enterrados. Para ello se cavaron 10 zanjas distribuidas a lo largo de la cárcava para crear diez diques enterrados de tierra compactada envuelta en fardos a su vez recubiertos de en plástico. El objetivo era impedir la incisión por regueros y cárcavas efímeras hasta el establecimiento de la cubierta herbácea que vegetara la vaguada. Esta vegetación se implementó mediante una siembra de una mezcla de gramíneas autóctonas de ciclo corto a una densidad aproximada de 60 kg ha^{-1} sembrada a mano a principios de otoño.

A.6.3 Resumen de costes.

El coste total de esta intervención realizada con personal propio, maquinaria alquilada y materiales comprados en proveedores cercanos se resume en la Tabla A.4. En ella el coste se ha calculado por apartados a precios del año de intervención

Concepto	Coste, €
Movimiento de tierras (traílla y laboreo)	3267
Excavadora para diques enterrados	399
Materiales para diques enterrados (plásticos, fardos)	367
Mano de obra	180
Siembra de cubierta	204
Coste total:	4417

Tabla A.6: Resumen de costes.

A.7. Aguayos.

A.7.1. Características generales.

Localización (UTM):

- X: 3444662.00 m E
- Y: 4189552.35 m N

Área aportadora: 1.9 ha.

Caudal punta para periodo de diseño de 25 años: $0.30 \text{ m}^3 \text{ segundo}^{-1}$.

Pendiente media de la cuenca aportadora: 16.4%.

Longitud máxima recorrida por escorrentía en la cuenca aportadora: 219.9 m.

Cultivo: Rotación de cereales de secano.

Longitud de actuación: 60 m.



Figura A.7: Imagen de la cárcava restaurada.

A.7.2. Descripción de la actuación.

Para la restauración de esta cárcava se colocó una caída en rip-rap de escollera de gran tamaño en la cabecera, para estabilizarla frente a la escorrentía y el deslizamiento de ladera. A lo largo de la cárcava se colocaron 4 diques de cordones de la misma escollera. A partir de la cabecera, el primer dique se encuentra a 22 m de distancia de esta; el segundo dique se puede encontrar a 29 m aguas debajo de la cabecera; el tercero a 40 m debajo de la cabecera; y el quinto dique a 50 m de la cabecera.

Finalmente, el perímetro de la cárcava se revegetó con una banda de 4 metros de anchura para que funcionara como buffer frente a los agroquímicos y mejora de la biodiversidad. Esto se hizo sembrando una mezcla de veza avena a unos 125 kg ha⁻¹ y de abono 15 NPK (15-15-15) a 175 kg ha⁻¹.

A.7.3 Resumen de costes.

El coste total de esta intervención realizada con personal propio, maquinaria alquilada y materiales comprados en proveedores cercanos se resume en la Tabla A.4. En ella el coste se ha calculado por apartados a precios del año de intervención

Concepto	Coste, €
Escollera para diques	720
Escollera para cabecera	720
Alquile de Maquinaria	649
Mano de obra	108
Revegetación	147
Coste total:	2344

Tabla A.7: Resumen de costes.